

اولویت‌بندی نانومواد با در نظر گرفتن عوامل تاثیر گذار در تصمیمات سیاستی کلان فناوری نانو در کشور

سودابه نامدار زنگنه^۱، زهرا محمدی دانیالی^{۲*}

۱- عضو هیات علمی دانشگاه الزهرا

۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه الزهرا

چکیده

در این مقاله خطراتی که در پی استفاده از نانو مواد به وجود می‌آید در رتبه بندی این مواد لحاظ شده است. به عبارتی با توجه به اهمیت سمیت ایجاد شده توسط نانو مواد، جهت تعیین اولویت آلترناتیوها، حداکثر مقدار مجاز نانومواد در هوا علاوه بر عوامل عنوان شده در ادبیات، برای اولین بار به عنوان یک عاملی کمی موثر در این تحقیق در نظر گرفته شده است. مدل چند هدفه ابتکاری با توجه به ویژگی‌های این مساله جهت تعیین اولویت این مواد طراحی شده است. پس از حل مدل مشاهده شد که با لحاظ کردن عامل سمیت رتبه‌بندی متفاوتی به دست می‌آید. با استفاده از روش سنجش، اعتبار رتبه‌بندی حاصل از طریق ضریب همبستگی اسپیرمن تعیین شد و مشخص گردید که اختلاف رتبه‌بندی حاصل، تنها به دلیل لحاظ کردن عامل سمیت، بوده است. این موضوع خود تاییدی بر اهمیت در نظر گرفتن یک عامل تاثیرگذار در رتبه‌بندی نانومواد است که تا به حال نادیده گرفته شده است. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند مرجعی برای تحقیقات آینده، سیاست‌گذاری‌های کلان اقتصادی و سرمایه‌گذاری بخش‌های خصوصی و کارخانه‌ها در انتخاب بهترین زمینه فناوری نانو باشد.

کلیدواژه‌ها: رتبه‌بندی نانو مواد، فناوری نانو، مدل‌سازی چند هدفه، آنترپی، سمیت نانومواد

۱- مقدمه

پیش‌ممكن بوده است، اما شناخت عمومی روندها، مفاهیم پایه و حوزه‌های تأثیرگذار فناوری نانو، در دهه پایانی قرن گذشته صورت گرفت و از سال‌های ابتدایی هزاره سوم میلادی به عنوان فناوری اساسی و کلیدی آینده و محرک موج جدید نوآوری‌های فناورانه، در مجامع فعال جهانی شناخته شد و مورد توجه دولت‌ها قرار گرفت. کشورهای صنعتی به این کلان‌الگوی جدید، عمدتاً به عنوان ابزار پیشسازی جهانی و کسب منافع بزرگ اقتصادی توجه کرده‌اند. ماهیت گسترده، تعامل نزدیک با علوم و فناوری‌های موجود، و تأثیرات چشمگیر اقتصادی و اجتماعی فناوری نانو، یک برنامه‌ریزی بلند مدت و چند بخشی را برای توسعه آن می‌طلبد. اکثر کشورهای فعال در زمینه فناوری نانو نیز بر این امر

فناوری نانو آمده تا جهان کنونی را با تحولی شگرف روبه‌رو سازد. فناوری نانو، علم و فناوری استفاده و بهره‌برداری از مواد در حد یک بیلینوم واحد طول است یا به عبارتی نانو^{۹-۱۰} متر است. فناوری نانو به عنوان نظام یا فرایندی تعریف می‌شود که کالا و خدمت را در حد نانومتر فراهم می‌کند یا به گفته آقای درکسلر^۱ (پدر نانو فناوری): "این فناوری قابلیت را برای ساختن سیستم‌های مولکولی، با دقت اتم به اتم فراهم می‌کند که باعث ظهور انواع دستگاه‌های نانویی می‌شود" [۱]. اگرچه فهم بخشی از پدیده‌های مقیاس نانو از حدود نیم قرن

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: zm.daniali@yahoo.com

یک کشور در حال توسعه مزایا و خطرات استفاده از فناوری نانو از نظر مردم عادی را مورد مطالعه قرار دادند. نتیجه حاصل از تحقیق آنها نشان داد از نظر مردم ایران، مزایای استفاده از فناوری نانو بر خطرات آن غلبه می‌کند. زیرا همچون سایر کشورها مطالعات انجام گرفته بر روی خطرات استفاده از نانو مواد بسیار کم بوده است. و عموماً این فناوری نویدبخش پیشرفت‌هایی در زمینه‌های مختلف علوم از جمله پزشکی و صنعت بوده است [۷]. همچنین در ایران نیز برای جلوگیری از خطرات احتمالی استفاده از نانو مواد استنادی تحت عنوان "آیین کار سلامت و ایمنی در محیط‌های کار با نانو مواد" تدوین شده است که صنعت‌گران ملزم به رعایت آن هستند به عنوان مثال بر اساس بند ۵.۲ آن "خطمشی مکتوبی باید توسط مدیر ارشد سازمان تهیه شود. در این خطمشی باید برای به حداقل رساندن مواجهه شغلی با ذرات نانومقیاس تا پایین‌ترین حد قابل اجرا (ALARP)^۱ اشاره شود. این خطمشی باید به اطلاع کلیه کارکنان سازمان رسانده شود و در روش‌های اجرایی، دستورالعمل‌ها و مواد آموزشی، طراحی امکانات و تاسیسات، دستورالعمل‌های صادره برای طراحان، فروشندگان، و استفاده‌کنندگان منعکس شود" [۸]. قاضی‌نوری و همکاران از روش پرمیتی در رتبه‌بندی نانو مواد استفاده کردند. مورد کاوی آنها شامل رتبه‌بندی زمینه‌های مختلف فناوری نانو در حضور معیارهایی همچون تاثیر نانو مواد بر بهبود کیفیت زندگی، شرایط اقتصادی، زیرساخت‌ها، دسترسی و محلی‌سازی فناوری است. آنها از روش تحلیل سلسله مراتبی به منظور تعیین وزن معیارها استفاده کردند و در نهایت رتبه‌بندی با استفاده از روش پرمیتی ارائه گشت. در آن مقاله، نانو ذرات، نانوکامپوزیت و نانو لوله به ترتیب اولویت اول، دوم و سوم را به خود تخصیص دادند [۹]. ایگور و همکارانش با در نظر گرفتن سه نانو ماده، آنها را رتبه‌بندی کردند. به منظور رتبه‌بندی از سه معیار تاثیر بر سلامت انسان و محیط زیست، اهمیت اجتماعی و ارجحیت

تأکید کرده‌اند. البته انتخاب درست طرح‌های فناوری نانو به برنامه‌ریزی صحیح در این زمینه و ایجاد سازوکارهای اجرایی مناسب بستگی دارد. این انتخاب مرحله‌ای سرنوشت‌ساز در فرآیند پیشبرد فناوری نانو در کشور و ضامن موفقیت در این زمینه خواهد بود [۲]. در مورد این فناوری، همچون فناوری‌های دیگر، خطرات استفاده از آن چیزی نیست که در ابتدا مورد توجه قرار گرفته باشد. اکثر پژوهش‌های انجام گرفته در مورد محصولات تولید شده از طریق آن فناوری و مزایای به دست آمده در اثر کاربرد آن محصولات بوده است [۳و۴]. در دنیا کشورهای زیادی هزینه‌های هنگفتی را روی این فناوری سرمایه‌گذاری کرده‌اند. اما از جمله مشکلاتی که در زمینه وجود دارد، کنترل کردن، کاستن و سرانجام از بین بردن مشکلات زیست‌محیطی و عوارض جانبی است. در همین راستا در کشورهای زیادی از جمله در کشور آمریکا بودجه‌های تحقیقاتی در زمینه مطالعه خطرات این مواد افزایش یافته است، که این نیاز در کشور ما نیز احساس می‌شود [۳]. در این تحقیق با در نظر گرفتن اعداد کمی به عنوان حد مجاز نانو مواد در هوا علاوه بر سایر عوامل تاثیرگذار و ارائه یک مدل ابتکاری، نانو مواد رتبه‌بندی شده‌اند.

۲- پژوهش‌های پیشین

موارد استفاده از نانوفناوری تا حدی است که دانشمندان از آن به عنوان انقلاب صنعتی دوم یاد می‌کنند [۱]. در بیشتر پژوهش‌ها مزایای استفاده از به کارگیری محصولات تولید شده از طریق این فناوری عنوان شده است [۳و۴]. اهمیت مطالعه در زمینه سلامت و امنیت مرتبط با فناوری نانو رو به افزایش است [۵]. اولین مطالعه صورت گرفته در زمینه معایب مرتبط با یک محصول تولید شده از نانو مواد اولین بار در آلمان منتشر شد [۶]. هرچند که بعداً مشخص شد محصول مورد مطالعه (اسپری جادویی نانو) از نانو مواد تشکیل نشده است. وقایع مرتبط با این موضوع مشخص می‌کند که چه اندازه ترس عمومی می‌تواند بر این فناوری تاثیرگذار باشد [۵]. فرشچی و همکاران در ایران به عنوان

1- As Low As Reasonable Practicable

کربن در هوا به میزان ۰.۰۳ میلی‌گرم بر متر مکعب عنوان شده است [۱۷]. زئولیت ۵۷ درصد مواد نانوحفره را شامل می‌شود. برای اندازه‌گیری میزان مجاز زئولیت، تاثیر آن بر روی موش‌ها آزمایش شد بدین ترتیب که موش‌ها به مدت ۹۰ روز در معرض استنشاق زئولیت قرار گرفتند و در نهایت میزان زئولیت مجاز ۰.۴۵ میلی‌گرم بر متر مکعب اعلام شد [۱۸]. مقدار غلظت مجاز فولرین در ژاپن ۰.۳۹ میلی‌گرم بر متر مکعب تعیین شده است [۱۹].

با استفاده از توضیحات فوق و با مرور ادبیات مرتبط، حداکثر میزان مجاز نانومواد در هوا به‌دست آمده است. این نتایج که از منابع [۱۹-۱۱] استخراج شده است به‌صورت اجمالی در جدول ۱ نشان داده شده و می‌بایست در تصمیم‌گیری کلان برای رتبه‌بندی صنایع نانو محور مدنظر محققین و مدیران باشد (در تحقیق فعلی از نتایج جدول ۱ استفاده شده است).

در ادامه مروری مختصر بر روش‌های به کارگرفته شده به منظور رسیدن به یک رتبه‌بندی از زمینه‌های مختلف فناوری نانو با در نظر گرفتن میزان سمیت ارائه شده است. با توجه به اهمیت رتبه‌بندی فناوری نانو و لزوم در نظر گرفتن معایب آن و تاثیر آشکار آن در تعیین سیاست‌های کلان فناوری نانو در کشور به این مهم در این مقاله پرداخته شده است.

۳- روش تحقیق

همانگونه که ذکر شد در تحقیق فعلی به بررسی اثرات منفی نانو مواد و اهمیت توجه به آنها در سیاست‌های کلان فناوری نانو در کشور پرداخته خواهد شد. بدین منظور ابتدا با نظر گرفتن رویکرد دسته‌بندی بر اساس ابعاد، مهم‌ترین نانو ماده‌های استفاده شده در صنعت با استفاده از ادبیات موجود شناسایی شدند. پس از آن با مرور عمیق ادبیات مشخص شد دسته دیگری از مقالات، مضرات استفاده از این مواد را مورد مطالعه و تحقیق قرار داده‌اند که این مضرات نیز از ادبیات استخراج شدند. در قدم بعد با انجام مصاحبه شفاهی با ۳ نفر از نانوسم‌شناسان کشور تایید شد که سمیت نانو مواد به سه طریق تنفس، جذب از طریق پوست و تاثیر آن بر روی محیط

از نظر سرمایه‌گذاران به صورت کیفی و روش AHP استفاده شده است [۵]. عبدی و همکاران کاربردهای فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت ایران را با در نظر گرفتن ۴ معیار فناوری، اقتصادی، بازار و ملاحظات استراتژیک و به کارگیری روش AHP اولویت‌دهی کردند [۱۰].

از مقالات مرور شده مشخص می‌شود که تا به حال جهت تعیین اولویت نانو مواد در هیچ پژوهشی میزان سمیت این مواد به صورت کمی لحاظ نشده است. در این پژوهش تلاش شده است رتبه‌بندی نانو مواد با در نظر گرفتن فضای کلی‌تری از عوامل تاثیرگذار ارائه شود تا بتوان معیار مستندتری در تعیین سیاست‌های نانو فناوری و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با آن ارائه نمود.

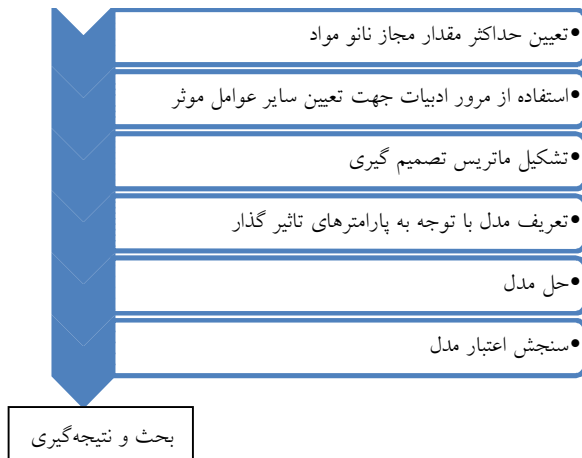
در ادامه نیز برخی تحقیقات انجام شده در خصوص مضرات نانو مواد ذکر شده است.

کیم و همکاران میزان سمیت نانو ذرات را بر روی ۴۰ موش آزمایش کردند؛ به منظور جلوگیری از آسیب‌های احتمالی حداکثر سطح مجاز نانوذرات نقره از نظر آنها مقدار ۱۰۰ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ تعیین شد [۱۱]. از پرکاربردترین نانوکامپوزیت‌ها می‌توان به نانو کامپوزیت نقره در صنعت بسته‌بندی اشاره کرد که مقدار قابل قبول آن در هوا ۱ میلی‌گرم بر مترمکعب تعیین شده است [۱۲]. با علم به اینکه بیشترین میزان سمیت نقاط کوانتومی از ترکیبات فلز کادمیوم ایجاد می‌شود، حداکثر مقدار مجاز آنها در هوا $0.0005 \text{ mg}/\text{m}^3$ گزارش شده است [۱۳].

همچنین حداکثر مقدار مجاز نانو فیبر در هوا $0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ است [۱۴]. بیشترین کاربرد نانو سیم‌ها به سه صورت نانوسیم‌های نیکل، نانوسیم‌های سیلیکونی و نانوسیم‌های نقره در صنعت است. مقدار سمیت نانوسیم نیکل و سیلیکون بسیار ناچیز است. مقدار مجاز نانوسیم نقره در هوا حداکثر $0.01 \text{ mg}/\text{m}^3$ است [۱۵]. بر طبق مطالعات صورت گرفته هیچ میزان سمیتی برای نانوکپسول‌ها گزارش نشده است، بر طبق منبع [۱۶] مقدار مجاز برای نانو کپسول‌ها حداکثر مقدار ذرات موجود در هوا یا $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ در نظر گرفته شده است. در سیاست‌گذاری نانو مواد در ژاپن حد مجاز انتشار نانولوله

چندهدفه، نتایج حاصل از این مدل با نتایج موجود از رتبه‌بندی در تحقیقات پیشین در ایران مقایسه (بدون در نظر گرفتن عامل سمیت) و مشخص شد که رتبه‌بندی حاصل در تحقیق فعلی تنها به دلیل لحاظ کردن عامل سمیت با رتبه‌بندی‌های پیشین متفاوت است و عامل تاثیرگذاری همچون عامل سمیت در هیچ رتبه‌بندی مورد توجه پژوهش‌های پیشین قرار نگرفته است.

نتایج رتبه‌بندی ارائه شده در تحقیق فعلی می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های نانو مواد در سطح کلان کشوری مد نظرمدیران و محققین باشد. روند کلی تحقیق حاصل به طور خلاصه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱) روند کلی تحقیق

۴- اجرای تحقیق

با توجه به توضیحات ارائه شده، فناوری نانو سکه‌ای است با دو روی: یک روی آن فوایدی است که بسیار مورد توجه قرار گرفته است و از اینرو فناوری نانو، انقلاب صنعتی دوم نام‌گذاری شده است و روی دیگر آن مضراتی است که به تدریج دارد مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و اطلاعات جامع و کاملی برای آن در اختیار نیست و اطلاعات موجود بعضاً موردی است و یا به طور اتفاقی بعد از آنکه اثرات سمی نانو مواد تأثیرات خود را بر روی کارگران و مصرف‌کنندگان گذارد مورد توجه قرار می‌گیرد. در مطالعات اخیر تنفس نانو ذرات و جذب احتمالی آن از طریق پوست و نیز تأثیرات

زیست قابل بررسی است. مجدداً جهت تعیین دامنه دقیق تحقیق با مراجعه به ادبیات نانو مواد مشخص شد که در اکثر مقالات منتشر شده جذب نانو مواد از طریق تنفس مورد مطالعه قرار گرفته و تنها داده موجود، حداکثر مقدار مجاز نانو مواد در هوا بوده است.

در قدم بعد با تایید خبرگان فناوری نانو برای چارچوب تحقیق فعلی نیز به بررسی جذب نانو مواد از طریق تنفس پرداخته شده است. به منظور رتبه‌بندی نانو مواد حداکثر مقدار مجاز این مواد در هوا به عنوان عامل موثر در رتبه‌بندی نانو مواد لحاظ خواهد گردید. در نهایت جمع‌بندی مقادیر به دست آمده از مقالات مرور شده در جدول ۱ آورده شده که به عنوان ورودی تابع هدف چهارم مدل چند هدفه در تحقیق فعلی استفاده شده است. از آنجا که رتبه‌بندی توسط یک عامل، رتبه‌بندی دقیقی نخواهد بود لذا جهت تعیین سایر عوامل تاثیرگذار در رتبه‌بندی نانو مواد به ادبیات موضوع توجه شده است و سایر عوامل از ادبیات استخراج شده‌اند. در تحقیق فعلی از مقاله قاضی نوری و همکاران (۲۰۱۲) به عنوان مقاله پایه استفاده شده است و عوامل تاثیرگذار و مهم در نانو فناوری از تحقیق ایشان که به صورت جامع در ایران انجام شده استخراج شده‌اند و نتایج آن، به عنوان قسمتی از ورودی‌های تحقیق فعلی در نظر گرفته شده است [۹].

تحقیق فعلی یک تحقیق کیفی- کمی می‌باشد و این تحقیق با توجه به استخراج معیارهای تاثیرگذار اولیه از ادبیات و مصاحبه حضوری با سم‌شناسان و خبرگان نانو فناوری جنبه کیفی به خود گرفته و سپس با استخراج مقادیر هر یک از معیارها از ادبیات موجود و وزن‌دهی آنها و نهایتاً با به کارگیری مدل ریاضی جنبه کمی کسب نموده است.

به منظور رتبه‌بندی آلترناتیوها یک مدل چندهدفه ابتکاری با توجه به معیارها طراحی شد و جهت حل مدل مذکور روش معیار جامع به کار گرفته شد. برای تعیین لاندرا در روش معیار جامع از روش آنتروپی استفاده شده است. مدل ارائه شده با استفاده از نرم‌افزار لینگو حل و رتبه‌بندی از نانو مواد ارائه شد. در انتها جهت سنجش اعتبار روش وزن‌دهی و مدل

از آنجا که تصمیم‌گیری درباره رتبه‌بندی نانو مواد تنها به عامل سمیت بستگی ندارد لذا با استفاده از نتایج داده‌های استخراج شده از ادبیات موجود و با استفاده از جدول ۱، ورودی‌های مدل تحقیق بدست آمده‌اند. در تحقیق فعلی علاوه بر عامل سمیت از عوامل کسب شده از ادبیات با عناوین تاثیر نانو مواد بر بهبود کیفیت زندگی، شرایط اقتصادی، زیرساخت‌ها، دسترسی و محلی‌سازی فناوری استفاده شده است و در ماتریس تصمیم‌گیری همه این عوامل لحاظ شده‌اند.

۴-۱ وزن‌دهی به معیارها

در این مطالعه از روش آنتروپی شانن برای وزن‌دهی استفاده شده است. زمانی که داده‌های یک ماتریس تصمیم‌گیری به طور کامل مشخص باشد و تصمیم‌گیرنده بخواهد با توجه به این داده‌ها، اوزان شاخص‌ها را محاسبه نماید، می‌توان از تکنیک آنتروپی شانن برای وزن‌دهی به شاخص استفاده نمود. اساس این روش بر این پایه استوار است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است. گام‌های این روش به شرح زیر است [۲۰]:

گام اول - تعیین ماتریس مقایسه وزن گزینه‌ها: در این مرحله ماتریسی رسم خواهد شد که در سطر آن گزینه‌ها، در ستون آن افراد و در تلاقی سطر و ستون، میزان اهمیتی که هر پاسخگو برای هر کدام از گزینه‌ها قائل شده است، ذکر می‌شود.

گام دوم - بهنجار کردن ماتریس تصمیم‌گیری: به منظور قابل مقایسه شدن، مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری ماتریس مقایسه وزن‌ها به ماتریس بهنجار یا ماتریس بی‌مقیاس موزون تبدیل می‌شوند.

گام سوم - محاسبه لگاریتم طبیعی ماتریس گام ۲

گام چهارم - ضرب نمودن ماتریس‌های گام ۲ و ۳

گام پنجم - محاسبه مجموع هر یک از ستون‌های ماتریس گام ۴: در این مرحله حاصل جمع هر یک از ستون‌های ماتریسی که به شرح گام چهارم ایجاد شده است، محاسبه می‌شود. در واقع برای هر گزینه حاصل جمع مذکور برابر با یک عدد معین (SX) خواهد بود.

زیست محیطی آن از معایب این فناوری برشمرده شده است [۶]. در این مقاله برای دسته‌بندی سمیت نظرسه نفر از متخصصین سم‌شناسی نانو مواد از طریق مصاحبه حضوری لحاظ گردید و همچنین مقالات موجود در این زمینه مورد توجه و جمع‌بندی قرار گرفته‌اند. بر اساس بررسی‌های انجام‌گرفته و مصاحبه‌های انجام شده با خبرگان نانو سم‌شناس، بیشترین آسیب‌پذیری از طریق تنفس ایجاد می‌شود که تعداد زیادی از مقالات منتشر شده در زمینه سم‌شناسی نانو مواد، جذب ذرات مسموم از طریق تنفس را مورد بررسی قرار داده‌اند. بر این اساس در این تحقیق میزان سمیت ذرات موجود در هوا مدنظر قرار گرفته شده و به بررسی آن پرداخته شده است. در مجموع هدف حصول رتبه‌بندی جامع از سمیت نانو مواد بوده است. از این پس منظور نویسنده از سمیت میزان سمیتی است که از طریق تنفس وارد بدن می‌شود. در ضمن بر اساس مرور ادبیات انجام شده بر روی مضرات نانو مواد از طریق تنفس که در بخش مرور پژوهش‌های پیشین ارائه شده‌اند، مقادیر جدول ۱ استخراج شده است.

جدول ۱) حداکثر میزان مجاز نانو مواد در هوا

ردیف	آلترناتیو	حداکثر میزان مجاز در هوا Mg/m ³
۱	نانوذرات	۰.۱
۲	نانوکامپوزیت	۰.۱
۳	نانوکریستال	۰.۰۰۵
۴	نانوفیبر	۰.۱
۵	نانوسیم	۰.۰۱
۶	نانوکپسول	سمی نمی‌باشد
۷	نانولوله	۰.۰۳
۸	نانوحفره	۰.۴۵
۹	فولرین	۰.۳۹

بر اساس نتایج کسب شده از جدول ۱، بهترین نوع استفاده از نانو مواد به صورت کپسول است و توصیه می‌شود که این امر در سیاست‌گذاری نانو مواد در کشور مورد توجه مدیران و مسئولین واقع شود.

۵- اجرای تحقیق

تصمیم‌گیری چند هدفه شامل گروهی از اهداف متناقض با هم است که به طور همزمان قابل دسترسی نمی‌باشد. تمرکز MODM همواره بر روی فضای تصمیم پیوسته است و با تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی قابل حل است. MODM معمولاً به اولویت‌های مرتبط با اهداف تصمیم‌گیرنده و ارتباط بین اهداف و شاخص‌ها مرتبط است. یک آلترناتیو هم بر حسب شاخص‌هایش و هم بر حسب دست‌یابی به اهداف تصمیم‌گیرنده توصیف می‌شود [۲۱].

پیش‌تازان علم DEA به طور تجربی ثابت کرده‌اند که این مدل در حالتی جواب قابل استنادی به دست می‌دهد که رابطه زیر بین تعداد واحدهای ارزیابی و تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها برقرار باشد [۲۱].

$$n \geq 2(s+m) \quad (4)$$

که در آن n تعداد واحدهای مورد بررسی، s تعداد معیار ورودی و m تعداد معیار خروجی است. در ادامه به منظور حل، معیارها را با توجه به این تعریف که ورودی، آن معیاری است که باید کم شود و خروجی آن معیاری است که باید افزایش یابد؛ دسته‌بندی می‌کنیم [۲۱].

اگر میزان تاثیر نانوفناوری بر روی زندگی، زیرساخت‌ها و بومی‌سازی را که باید افزایش یابد به عنوان خروجی و نیز هزینه‌ها و میزان سمیت تولید شده را به عنوان ورودی در نظر بگیریم، حداقل باید ۱۰ آلترناتیو برای رتبه‌بندی داشته باشیم تا مدل جواب قابل استنادی بدهد. با توجه به اینکه تعداد آلترناتیوهای این تحقیق ۹ عدد است از یک مدل توسعه یافته چندهدفه استفاده شده است.

در این مدل کارایی نسبت میزان تاثیر فناوری نانو در بهبود شرایط زندگی بر هزینه‌های انجام گرفته تعریف شده است. بقیه اهداف به طور جداگانه تعریف شده‌اند تا آلترناتیو بهینه با در نظر گرفتن سایر گزینه‌ها انتخاب شود.

۵-۱ مدل‌سازی مساله

تعریف پارامترهای استفاده شده در مدل به صورت زیر است:

گام ششم- محاسبه مقدار E_j : در این مرحله با استفاده از فرمول‌های زیر به ازای هر sx مقدار E_j محاسبه می‌شود که در این فرمول‌ها، m بیانگر تعداد جایگزین‌ها یا تعداد اعضای جامعه آماری می‌باشد که به سوالات پرسشنامه پاسخ داده‌اند.

$$E_j = -K.Sx_j \quad K = 1/\ln(m) \quad (1)$$

گام هفتم- محاسبه تفاضل آنتروپی از عدد یک: در این مرحله به منظور جلوگیری از سردرگمی در تحلیل نتایج، تفاضل هر کدام از مقادیر E_j از عدد یک محاسبه می‌شود. در واقع در این مرحله، d درجه اهمیت هر گزینه را مشخص می‌کند.

$$D = 1 - E_j \quad (2)$$

گام هشتم- محاسبه وزن هر گزینه: در این مرحله به منظور بهنجارسازی نتایج و تعیین وزن دقیق هر گزینه، با استفاده از فرمول زیر، وزن نسبی هر گزینه مشخص می‌گردد. بر این اساس هر گزینه‌ای که دارای کمترین وزن باشد، از کمترین اهمیت برخوردار خواهد بود.

$$W_j = d_j / \sum_{j=1}^m d_j \quad (3)$$

نتایج وزن‌دهی به زیرمعیارهای عنوان شده در مرجع [۹] و نیز عامل سمیت از طریق روش آنتروپی در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲) اوزان تخصیص داده شده به هر معیار با استفاده از روش آنتروپی

ردیف	معیار	زیرمعیار	وزن
۱	زیرساخت‌ها	تعداد متخصص‌های موجود	۰.۰۳۳
		نرم افزار و تجهیزات	۰.۰۰۳
		ساختارها و حرفه‌های موجود	۰.۰۳۹
۲	تاثیر فناوری بر بهبود کیفیت زندگی	گستره کاربرد فناوری	۰.۰۵۱
		قابلیت جایگزینی با فناوری کنونی	۰.۰۴۲
۳	دسترسی و بومی سازی فناوری	میزان جذابیت برای سازمان‌های غیردولتی	۰.۰۹۹
		ظرفیت کشور	۰.۰۷۸
		زمان بین تحقیق و اجرا	۰.۰۲۷
		آینده فناوری	۰.۰۲۴
		سادگی فرایند تولید	۰.۰۳۶
		استفاده از همکاری‌های بین‌المللی	۰.۰۲۷
۴	شرایط اقتصادی	امکان ورود به زنجیره تامین	۰.۰۳۳
		سرمایه‌گذاری روی تحقیقات	۰.۰۳۹
		سرمایه‌گذاری لازم برای تولید	۰.۰۱۸
۵	ملاحظات زیست محیطی	قیمت تمام‌شده محصول	۰.۰۵۷
		میزان سمیت	۰.۳۲۹

۵-۲ حل مدل توسط روش معیار جامع با در نظر گرفتن

وزن‌های به دست آمده از روش آنتروپی

روشی که در این تحقیق به منظور حل مدل مورد استفاده قرار گرفته است، روش معیار جامع و یا I-p متریک می‌باشد. منظور از این روش حداقل کردن انحراف توابع هدف موجود در یک مدل چند هدفه نسبت به حل ایده‌آل آنها است. از آنجا که ممکن است هیچ جواب منحصر به فرد بهینه برای تمامی توابع وجود نداشته باشد، هر تابع هدف به طور مجزا بهینه‌سازی می‌گردد. سپس توسط مدل I-p متریک، فاصله این توابع هدف با جواب‌های ایده‌آل کمینه می‌گردد [۲۰].

ضرایب تابع هدف در مدل I-p متریک توسط خبرگان مشخص می‌شود. در این تحقیق جهت جلوگیری از به وجود آمدن ضرایب سلیقه‌ای و عدم اطمینان‌های موجود در قضاوت‌های فردی روش آنتروپی شانون به منظور به دست آوردن وزن هر تابع هدف (لاندا) پیشنهاد شده است. وزن هر تابع هدف از جمع اوزان تخصیص داده شده به زیرمعیارهای مرتبط با آن تابع هدف به دست آمده است. جهت به دست آوردن وزن تابع هدف اول و یا کارایی، وزن معیارهای تاثیر فناوری نانو بر کیفیت زندگی و نیز هزینه‌ها با یکدیگر جمع شده است. وزن توابعی که زیرساخت‌ها و بومی‌سازی را پیشینه و سمیت را کمینه می‌کند از مجموع اوزان زیرمعیارهای مرتبط با هر یک به دست آمده است [۲۰]. نتایج در جدول ۳ آورده شده است.

جدول شماره ۳) رتبه‌بندی زمینه‌های مختلف نانو با استفاده از مدل ارائه

شده

رتبه بندی	نوع نانو مواد	مقدار تابع هدف بهینه
۱	نانو کپسول	-۰.۱۹۰۱۸۴۴
۲	نانو کامپوزیت	-۰.۲۰۷۹۳۹۹
۳	نانوذرات	-۰.۰۹۰۷۲۴۴۴۲
۴	نانو لوله	-۰.۶۸۰۲۸۱۲
۵	نانو حفرة	-۰.۰۳۵۲۱۱۴۷
۶	نانو کریستال	-۰.۷۴۳۷۱۸۹
۷	نانو فیبر	-۰.۱۰۴۷۴۱۵
۸	فولرین	-۰.۱۵۱۲۸۴۸
۹	نانو سیم	-۰.۱۴۱۷۲۷۲

i: آلترناتیو

j: معیار

اگر معیار i آلترناتیو j انتخاب شود
در غیر اینصورت $\left. \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\} : x_{ij}$

A_{ij} : مقدار تخصیص داده شده به آلترناتیو i با در نظر گرفتن

معیار j

n: تعداد معیارها

m: تعداد آلترناتیوها

اگر آلترناتیو i انتخاب شود
در غیر اینصورت $\left. \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\} : y_i$

$$\text{Max } \frac{\sum_{i=1}^m A_{i2}x_{i2}}{\sum_{i=1}^9 A_{i4}x_{i4}} \quad (5)$$

$$\text{Max } \sum_{i=1}^m A_{i1}x_{i1} \quad (6)$$

$$\text{Max } \sum_{i=1}^m A_{i3}x_{i3} \quad (7)$$

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m A_{i5}x_{i5} \quad (8)$$

St.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = ny_i \quad \forall i = 1, \dots, 9 \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m y_i = 1 \quad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (11)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad (12)$$

توسط تابع هدف (۵) کارایی بیشینه می‌شود. کارایی در این مساله نسبت شاخص تاثیر فناوری نانو در کیفیت زندگی به شاخص هزینه تعریف شده است.

تابع هدف (۶) زیرساخت‌ها را بیشینه و تابع هدف (۷) شرایط بومی‌سازی را بیشینه می‌کند، در نهایت تابع هدف (۸) میزان سمیت تولید شده در هوا را کمینه می‌کند.

محدودیت (۹) تضمین می‌کند که یا تمامی معیارهای یک آلترناتیو انتخاب شود و یا هیچکدام. محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند در هر مرحله از فرآیند حل مساله حل تنها آن آلترناتیوی انتخاب شود که تمامی معیارهای آن انتخاب شده است.

در مجموع می‌خواهیم با استفاده از این مدل آلترناتیوی انتخاب شود که کارایی، زیرساخت‌ها و شرایط بومی‌سازی بیشینه باشد. درعین حال می‌خواهیم گزینه‌ای انتخاب شود که سمیت تولید شده به‌وسیله آن نیز کمینه باشد.

۳-۵ سنجش اعتبار رتبه‌بندی

از آنجا که رتبه‌بندی ارائه شده با استفاده از مدل تحقیق فعلی با رتبه‌بندی صورت گرفته در مقالات متفاوت بوده؛ اعتبار رتبه‌بندی حاصل از طریق ضریب اسپیرمن مورد بررسی قرار گرفته است. تغییرات مشاهده شده در رتبه‌بندی از سه عامل نشأت می‌گیرد. این سه عامل عبارتند از:

- ✓ تغییر در روش وزن‌دهی معیارها
- ✓ تغییر در روش حل (استفاده از مدل چند هدفه پیشنهادی)

✓ دخیل کردن معیار جدید سمیت در رتبه‌بندی

به منظور تضمین اعتبار، در هر بار یک عامل از عامل‌های فوق را متغیر و سایر عوامل ثابت فرض می‌شوند.

از آنجا که تغییر در رتبه‌بندی حاصل شده از مدل ارائه شده ممکن است به سه علت فوق باشد؛ از این رو در این قسمت به سنجش اعتبار هر یک از عوامل به صورت مجزا پرداخته شده است، بدین شکل که در هر بار یک عامل تاثیرگذار بر رتبه‌بندی ارائه شده متغیر و سایر عوامل، ثابت نگه داشته شده‌اند و از طریق ضریب اسپیرمن اعتبار روش وزن‌دهی و مدل ارائه‌شده به اثبات رسیده است.

ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن توسط چارلز اسپیرمن^۱، روانشناس و آماردان انگلیسی در سال ۱۹۰۴ معرفی شد. این ضریب میزان همبستگی رابطه میان دو متغیر ترتیبی را نشان می‌دهد. در این ضریب همبستگی به جای استفاده از خود مقادیر متغیرها از رتبه‌های آنان استفاده می‌شود. رابطه مربوط به ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_i^2}{n(n^2-1)} \quad (13)$$

که در آن D تفاوت بین رتبه‌های اعضای متناظر دو گروه مورد بررسی و n حجم هر گروه است [۲۲].

ضریب همبستگی ۱ بیانگر همبستگی کامل بین دو رتبه‌بندی، ضریب همبستگی صفر بیانگر ناهمبسته بودن و ضریب منفی ۱ نشان‌دهنده همبستگی معکوس است.

۳-۵-۱ سنجش اعتبار روش تعیین وزن

جهت تعیین اعتبار روش وزن‌دهی مدل پیشنهادی بدون در نظر گرفتن سمیت در دو حالت حل شده است، در حالت اول مدل با به‌کارگیری اوزان به‌دست آمده از طریق تحلیل سلسله مراتبی منتج از مرجع [۹] و در حالت دوم مدل با استفاده از روش وزن‌دهی آنتروپی حل شده است. نتایج در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴) مقایسه رتبه‌بندی حاصل از مدل پیشنهادی و روش تحلیل

سلسله مراتبی با روش آنتروپی

روش آنتروپی	روش AHP	آلترناتیو	ردیف
۳	۳	نانوذرات	۱
۱	۲	نانو کامپوزیت	۲
۴	۴	نانو کریستال	۳
۵	۵	نانوفیبر	۴
۹	۹	نانوسیم	۵
۷	۷	نانوکپسول	۶
۲	۱	نانولوله	۷
۶	۶	نانوحفره	۸
۸	۸	فولرین	۹

برای نشان‌دادن همبستگی دو روش از ضریب اسپیرمن استفاده شده است. این مقدار همبستگی (۰.۹۹) نشان می‌دهد همخوانی بسیار زیادی میان روش وزن‌دهی AHP و آنتروپی وجود دارد.

۳-۵-۲ سنجش اعتبار مدل چند هدفه ارائه شده بدون در

نظرگرفتن معیار سمیت

برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده، رتبه‌بندی حاصل شده از طریق این مدل بدون در نظر گرفتن سمیت و با استفاده از روش وزن‌دهی تحلیل سلسله مراتبی، با رتبه‌بندی حاصل از مرجع [۹] مقایسه شده است، نتایج در جدول ۵ آورده شده است. در این قسمت هدف ارزیابی سازگاری مدل پیشنهاد شده با روش پرومیتی از طریق ثابت نگه داشتن روش وزن‌دهی به معیارها بوده است.

جدول ۵) مقایسه رتبه‌بندی حاصل از روش مدل پیشنهادی و ارائه شده

در مقالات پیشین

ردیف	آلترناتیو	رتبه‌بندی حاصل از مدل پیشنهادی و AHP	رتبه‌بندی حاصل از منبع [۹]
۱	نانوذرات	۳	۱
۲	نانو کامپوزیت	۲	۲
۳	نانو کریستال	۴	۴
۴	نانوفیبر	۵	۷
۵	نانوسیم	۹	۶
۶	نانوکپسول	۷	۵
۷	نانولوله	۱	۳
۸	نانوحفره	۶	۹
۹	فولرین	۸	۸

ضریب اسپیرمن محاسبه شده برابر با ۰.۹۹۲ نشان می‌دهد رتبه‌بندی حاصل از مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن معیار سمیت و رتبه‌بندی حاصل از روش پرومتی از همبستگی خوبی برخوردار هستند.

۶- بحث

با توسعه فناوری نانو، جهان با تحولات بزرگی مواجه شده است. فناوری نانو علم و فناوری بهره‌برداری از مواد در ابعاد نانو است و به عبارت دیگر، فرآیندی است که کالا و خدمات را در حد نانومتر فراهم می‌کند.

فناوری نانو توجه بسیاری از پژوهشگران کشورهای مختلف را به خود جلب کرده است، در ایران نیز همانند سایر کشورها سرمایه‌گذاری‌های خوبی بر روی این فناوری شده است. پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه همانند فناوری‌های دیگر به دو بخش تقسیم می‌شود: بخش اول شامل قسمت اعظم مقالات منتشر شده است که شامل مزایای این فناوری است. به عبارت بهتر تحولات ناشی از به‌کار بستن صحیح این فناوری و تاثیری که بر زندگی بشر دارد در این دسته مقالات منتشر شده است. بخش دوم که به تازگی مورد توجه محققان قرار گرفته است مضرات استفاده از این فناوری را بیان می‌کند که در تحقیق فعلی نیز توجه ما به آن جلب شده است. هدف از انجام این تحقیق، رتبه‌بندی نانومواد با استفاده از یک مدل چند هدفه است و نتایج کسب شده از مدل قابل بکارگیری در سیاست‌گذاری نانومواد می‌باشد. با انجام مطالعات مرتبط با فناوری نانو مشاهده شد در رتبه‌بندی‌های ارائه شده معیار سمیت تولید شده از نانومواد در هیچ پژوهشی مورد توجه قرار نگرفته است. سمیت نانو مواد یا در حین تولید به وجود می‌آیند و یا هنگام مصرف به طور ناخواسته ایجاد می‌شود و یا هنگام تجزیه در طبیعت حاصل می‌شود. جذب نانو مواد از سه طریق تنفس، پوست و بلعیدن در بدن وارد می‌شود. طبق نظر متخصصین هشتاد درصد عوارض، ناشی از تنفس سم حاصل از نانو مواد است. لذا در این پژوهش منظور از

برای مقایسه از ضریب اسپیرمن استفاده شده است. مطابق توضیحات داده شده با استفاده از مقدار این ضریب (۰.۹۶) ثابت می‌شود مدل پیشنهادی از اعتبار قابل قبولی برخوردار است و نتایج ارائه شده توسط این مدل تا حد زیادی با نتایج مدل پرومتی سازگار است.

۵-۳-۳ سنجش رتبه‌بندی مدل چند هدفه ارائه شده شماره ۱، با

در نظر گرفتن معیار سمیت

در این قسمت برای اعتبار سنجی مدل ارائه شده رتبه‌بندی حاصل شده از طریق این مدل با در نظر گرفتن سمیت با رتبه‌بندی حاصل از مرجع [۹] مقایسه شده است، نتایج در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸) مقایسه رتبه‌بندی حاصل از روش مدل پیشنهادی و ارائه شده

در مقالات پیشین

ردیف	آلترناتیو	رتبه‌بندی حاصل از مدل پیشنهادی	رتبه‌بندی حاصل از منبع [۹]
۱	نانوذرات	۲	۱
۲	نانو کامپوزیت	۱	۲
۳	نانو کریستال	۴	۴
۴	نانوفیبر	۵	۷
۵	نانوسیم	۷	۶
۶	نانوکپسول	۶	۵
۷	نانولوله	۳	۳
۸	نانوحفره	۹	۹
۹	فولرین	۸	۸

هزینه‌ها به دست آمده است. برای سایر توابع هدف نیز این ضریب از طریق جمع ضرایب زیرمعیارهای مرتبط با هر هدف به دست آمده است. سپس توسط نرم‌افزار لینگو مدل حل و رتبه‌بندی لازم انجام پذیرفت.

در ادامه اعتبار مدل از طریق ضریب اسپیرمن مورد ارزیابی قرار گرفت. از آنجا که تفاوت نتایج حاصل از این تحقیق می‌توانست از سه عامل تفاوت در تعیین وزن، تفاوت در روش رتبه‌دهی و نیز لحاظ کردن معیار سمیت به عنوان یک عامل تاثیرگذار ناشی شود؛ برای اثبات همبستگی در هر مرحله سعی شد تنها یک عامل مورد بررسی قرار گیرد و سایر عوامل تاثیرگذار ثابت نگه‌داشته شوند. نتایج مشخص کرد روش وزن‌دهی آنتروپی و تحلیل سلسله‌مراتبی همبستگی بسیار زیادی با هم دارند، همچنین مقایسه رتبه‌بندی حاصل از مدل ارائه شده و بدون در نظر گرفتن عامل سمیت با رتبه‌بندی حاصل از روش پرومیتی نشان داد که مدل از اعتبار قابل قبولی برخوردار است.

۷- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سمیت معیار مهمی در تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی نانومواد بوده و در اولویت‌دهی آلترناتیوها تاثیرگذار می‌باشد. در تمامی رتبه‌بندی‌های حاصل از کار محققان پیشین که مبنایی برای سیاست‌گذاری‌های کلان بوده است این معیار نادیده گرفته شده است. تاثیر لحاظ نکردن این معیار در سال‌های آتی مشخص و منتشر خواهد شد. در آن زمان به دلیل سیاست‌گذاری‌های نادرست، سمیت نانومواد می‌تواند به طور جدی تاثیر خود را بر مصرف‌کنندگان، کارگران کارگاه‌های تولیدی و کارخانه‌ها و همچنین بر محیط‌زیست بگذارد. لزوم تاکید بر شناخت این معیار تا آنجاست که متصور است کشورهایی که به این معیار توجه می‌کنند، نانو موادی را که با سمیت زیاد تولید می‌شوند شناسایی و تولید آنها را در آینده به کشورهای ناآگاه بسپارند. در پایان پیشنهاد می‌شود که با توجه به رشد سریع علم و

سمیت، میزان جذب از طریق تنفس بوده و به عنوان یک معیار تاثیرگذار مطرح شده‌است. به منظور به‌دست آوردن مقادیر جهت اعمال در ماتریس تصمیم‌گیری، حداکثر مقدار مجاز سمیت موجود در هوا برای هر نانو ماده از مقالات مرتبط بر اساس میلی‌گرم بر مترمکعب تعیین شده است (جدول ۱). با توجه به محدودیت مدل تحلیل پوششی داده‌ها در تعیین کارایی وقتی که تعداد آلترناتیوها نسبت به معیارها کم هستند، یک مدل چند هدفه ارائه شده است. اولین تابع هدف در مدل به دنبال بیشینه کردن کارایی است. کارایی در این پژوهش میزان تاثیر نانومواد بر کیفیت زندگی، بر هزینه‌ها تعریف شده است. توابع هدف دیگر طوری تعیین شده‌اند که هنگام رتبه‌بندی، آلترناتیو انتخاب شده، دارای بیشترین کارایی باشد، زیرساخت‌های بهتری برایش وجود داشته باشد، بومی‌ترین باشد و در عین حال میزان سمیت تولید شده توسط آن در هوا کمترین باشد. سپس روش آنتروپی برای وزن‌دار کردن معیارها به کارگرفته شده است. زیرا این روش نسبت به تحلیل سلسله مراتبی از لحاظ علمی دقیق‌تر و کمتر تحت تاثیر نظر افراد است.

برای حل مدل چند هدفه از روش معیار جامع استفاده شد. روش معیار جامع برای حل مدل‌های چند هدفه کاربرد دارد، این روش درگام اول مساله را با هر یک از توابع به طور جداگانه حل می‌کند، سپس چند تابع هدف را به یک تابع هدف تبدیل کرده و سعی می‌کند جواب بهینه را طوری پیدا کند که توابع کمترین فاصله از مقدار بهینه خود را داشته باشند. در این مدل برای تبدیل توابع هدف به یک تابع هدف از ضریب لاندا استفاده می‌شود. این ضریب توسط تصمیم‌گیرندگان مشخص می‌شود که بیان‌گر اهمیت اهداف نسبت به یکدیگر است. در این پژوهش لاندا از طریق آنتروپی به دست آمده، بدین صورت ضریب کسب شده به صورت علمی محاسبه شده است و نه سلیقه‌ای. برای تابع هدف کارایی، این ضریب از جمع ضرایب آنتروپی تعریف شده برای زیرمعیارهای تاثیر نانومواد بر کیفیت زندگی و

Health News. Available from: http://www.bfr.bund.de/en/press_information/2006/08/exercise_caution_when_using_nano_sealing_sprays_containing_a_propellant_-7699.html

[7] Farshchi, P., Sadrnezhad, S.Kh., Moharram Nejad, N., Mahmoodi, M. and Ibrahimi Ghavam Abadi, L., 2011, "Nanotechnology in the public eye: the case of Iran, as a developing country", *Journal of Nanoparticle Research*, 13, pp. 3511-3519.

[۸] سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۸، "آیین کار سلامت و ایمنی در محیط‌های کار با نانومواد"، قابل دسترسی در: <http://www.isiri.org/portal/files/std/12325.pdf>

[9] Ghazinoory, S., Daneshmand-Mehr, M. and Azadegan, A., 2012, "Technology selection: Application of the PROMETHEE in determining Preferences-a real case of nanotechnology in Iran", *Journal of the Operational Research Society*, 64, pp. 884-897.

[۱۰] عبدی، منصوره، امین‌ناصری، محمدرضا و شریعتی نیاسر، مجتبی، ۱۳۸۷، "اولویت‌یابی کاربردهای فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت ایران"، فصلنامه سیاست علم و فناوری، (۲)، صص. ۲۹-۴۱.

[11] Kim, Y.S., Yong Song, M., Park, J.D., Song, K.S., Ryu, H.R., Chung, Y.H. et al., 2010, "Subchronic oral toxicity of silver nanoparticles", *Particle and Fiber Toxicology*, available from: <http://www.particleandfibretoxicology.com/content/7/1/20>.

[12] kalbassi, M., Salari-joo, H. and Johari, A., 2011, "Toxicity of silver nanoparticles in aquatic ecosystems: salinity as the main cause in reducing toxicity", *Iranian Journal of Toxicology*, 5(1&2), pp. 436-443.

[13] Quantum Dot Corporation, 2005, "Material Safety Data Sheet", Research Road Hayward, 94545. CA 94545, 510.

[14] DropSens, 2006, "Material Safety Data Sheet: Carbon nanofibers solution", MSDS according to directive CE N 1907/2006, available from: http://www.dropsens.com/pdfs_productos/msds_drp-cnfsol_carbon_nanofibres_solution_en.pdf.

[15] Byrne, F., Prina-Mello, A., Whelan, A., Mohamed, B.M., Davies, A. and Gun'ko, Y.K., 2009, "High content analysis of the biocompatibility of nickel nanowire", *Journal of magnetism and magnetic materials*, 321, pp. 1341-1345.

[۱۶] قویدوست، عاطفه، ۱۳۹۱، "نقاط کوانتومی چیست؟" سایت شبکه ملی مدارس، قابل دسترسی در: <http://www.roshd.ir/Default.aspx?tabid=442&EntryID=3282&SSOReturnPage=Check&Rand=0>

[17] Health & safety laboratory, 2008, "Health & Safety Executive NanoAlert Service", HSE NanoAlert Service, Health & safety Executive, Health & safety laboratory, boxtun, UK., available from: <http://www.hse.gov.uk/nanotechnology/nanoalert005.pdf>.

فناوری معیارهای تاثیرگذار بر تمامی فناوری‌ها از جمله فناوری نانو به‌طور دوره‌ای با آخرین تحقیقات انجام گرفته به روز شوند تا سیاست‌گذاری‌ها با آخرین دستاوردهای علمی همگام باشند و نتایج مضر بکارگیری آنها به حداقل برسد.

۸- پیشنهاد تحقیقات آتی

- در این تحقیق تنها میزان سمیت ناشی از نانو موادی در نظر گرفته شده است که از طریق تنفس وارد بدن می‌شود، با توجه به اینکه راه‌های ورود سم نانومواد از سه طریق پوست، تنفس و بلعیده شدن است پیشنهاد می‌گردد دو راه ورود دیگر نیز به‌عنوان زیرمعیاری از معیار سمیت در تصمیم‌گیری لحاظ شود.
- تاثیرات نانومواد بر محیط زیست در تصمیم‌گیری لحاظ گردد تا اولویت‌بندی فناوری نانو بهبود یابد.
- به نانو سم‌شناسان پیشنهاد می‌گردد در یک شرایط کالیبره به اندازه‌گیری حداکثر مقدار مجاز انتشار نانو ذرات مسموم‌کننده بپردازند.

References

منابع

- [1] Ken, G., 2004, "Nanotechnology and Environmental and public health considerations", *Journal of environmental and occupational health policy*, 14(1), pp. 9-18.
- [۲] کارگر شورکی، سعید، ۱۳۸۶، "بررسی کارایی نسبی قیمت‌گذاری بازار سهام با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، حسابداری، دانشگاه تربیت مدرس.
- [3] Smiley, S.E., Hosgood, H.D., Michleson, E.S. and Stowe, M.H., 2008, "Americans' nanotechnology risk perception", *Journal of Industrial ecology*, 12(3), pp. 459-473.
- [4] Siegrist, M., Keller, C., Kastenholz, H. and Frey, S., 2007, "Lay people's and experts' perception of hazards", *Risk Analysis*, 27, pp. 59-69.
- [5] Linkov, I., Satterstrom, F.K., Steevens, J., Ferguson, E. and Pleus, R.C., 2007, "Multi-criteria decision analysis and environmental risk assessment for nanomaterials", *Journal of nanoparticle research*, 9, pp. 543-554.
- [6] Bundesinstitut für Risikobewertung, 2006, "Exercise Caution when Using "Nano-Sealing Sprays" Containing a Propellant! ", *Rachel's Democracy &*

- [۲۰] اصغر پور، محمدجواد، ۱۳۸۲، تصمیم‌گیری گروهی و نظریه بازی‌ها با نگرش تحقیق در عملیات، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۲۱] تیموری، ابراهیم و حافظ‌الکتاب، اشکان، ۱۳۸۷، "طراحی شبکه تامین چند محصولی با استفاده از برنامه‌ریزی غیر خطی دو هدفه و به‌کارگیری روش AHP: مطالعه موردی لجستیک خودرو"، فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، ۴۷، صص. ۲۰۵-۱۶۹.
- [۲۲] آذر، عادل، ۱۳۷۹، تحقیق در عملیات، موسسه نشر علوم نوین.

- [18] Michael L. and Rataj, C.I.H., 2002, "90-day inhalation toxicity study of a non-fibrous synthetic zeolite analog in the rat", Manager, HSE skill center, UOP HSE Dept. Fraunhofer ITA study no. 02G01017, available from: http://www.epa.gov/oppt/tsca8e/pubs/8ehq/2002/jun02/8ehq_0602_15157a.pdf
- [19] Morimoto, Y., Horie, M., Kobayashi, N., Shinohara, N. and Shimada, M., 2013, "Inhalation Toxicity Assessment of Carbon-Based Nanoparticles", *Accounts of Chemical Research*, 46(3), pp. 770-781.

Analyzing Structure of Iran Nanotechnology Innovation Network in Health Sector

**Soudabe Namdar Zangeneh¹, Zahra
Mohammadi Daniali^{2*}**

- 1- Faculty Member of Department of Industrial
Engineering, Alzahra University
2- Graduated Student of Industrial Engineering
of Alzzahra University

Abstract

In this paper hazard of nano-material application is taken into consideration for ranking of nanomaterials. In other words, the importance of toxicity caused by nano material usage is a part and parcel of this research. And for the first time in the literature, the maximum amount of allowed nano-materials in the air is considered as an effective quantitative factor in prioritizing the nano-material alternatives. With respect to the problem of ranking the properties, a new multi-objective model is proposed to determine the priority of nano-materials. Solving the new model, proved that by adding toxicity factor to the previous factors in the literature, a completely new ranking of nano-materials would be presented. The validity of the presented ranking is confirmed by Spearman Correlation Coefficient. It should be mentioned that the different rankings achieved in our research is mainly due to addition of toxicity factor in our model. This issue is an endorsement of the fact that addition of the ignored factor, toxicity, changes the results and rankings of the prior research work. Results of this paper may be referred to by future researcher and may be of value to macroeconomic policy makers, private investors and factories interested in ranking and selecting the best field of nano technology.

Keywords: Nano-Material Ranking, Nano Technology, Multi Objective Modeling, Entropy, Nano Technology Toxicity.

* Corresponding Author: zm.daniali@yahoo.com